



光の彫刻 ― ホログラフィーの基礎と芸術への応用

本学の「像情報工学研究施設」(現未来産業技術研究所)から“魔法の光”を紡ぐ
女流芸術家が誕生し、ホログラフィー・アーティストとして
世界を魅了している。

ホログラムは紙幣やパスポート、クレジットカード等でおなじみですが、その仕組みとなるとマニアックな人向けの解説がほとんどですので、ここではホログラムを作る技術(ホログラフィー)の歴史と原理をなるべく分かりやすく説明した上で、本学の果たした役割と日本はこの分野で世界のトップリーダーであることを紹介します。従来の写真は、光の強度(明暗)と色(波長)を記録したのですが、ホログラムの場合は、これらに加えて位相(波の高低のタイミング)までも含めて、光の進み方のすべてを記録し再生しますので、被写体は目の前にあるかのように立体として蘇(よみがえ)ります。ホログラフィーと命名されたこの技術は、誕生当時には位相がそろった光源がなくアイデア倒れとなっていました。美しい花の種が芽吹いたのに外界はまだ冬で成長できない状況に似ています。しかし、やがて理想的な光を発するレーザーが開発されると、ホログラフィーの分野にも春が訪れ、急成長を遂げました。科学技術分野のみならず芸術分野にも大きな影響を与えています。画家のダリもホログラムに魅了された一人です。本学では、ホログラフィー誕生の頃から、その技術の可能性に注目していた研究者(辻内順平)を中心に、像情報工学研究施設を舞台にして活発な研究活動が展開され、ホログラフィーの発展に寄与するとともに、国際的に活躍するホログラフィー・アーティスト(石井勢津子)を輩出しています。

1. ホログラフィーの基編

1.1. 序(財布の中の超ハイテク)

2024年に新しくなった紙幣には、光を“波”として記録する驚異のテクノロジーが隠されています。新千円札を取り出して横に傾けると、光沢部の北里柴三郎の肖像がまるで生きているかのように左右に顔を動かします(試してみてください)。実用化の観点から縦方向の動きは省略されていますが、大量発行される紙幣に、このような多数の視点の画像を組み合わせで作ったホログラムを導入したのは日本が初めてです。偽造防止という意味だけではなく、日本の優れた科学技術に支えられた「超精密印刷加工技術」を世界にアピールしてくれているのです。紙幣は単なる貨幣ではなく、文明のバロメータとしても機能していると言えるでしょう。以下、ホログラフィー(Holography)の歴史と原理及びホログラフィーを

使って芸術作品を生み出している本学の卒業生(石井勢津子, 1970 応物, ①)を紹介します。「紙幣(平らな紙)の上に印刷された顔が回転して見えるのはなぜか?」も分かります。

1.2. ホログラフィーまでの歴史

私たちの網膜には可視光全体の波長域にわたって光の強度を感じ取る視細胞(白黒センサー)と特定の波長域の光に回答する3種類の視細胞(青, 緑, 赤色センサー)が備わっています。これら4種類のセンサーを両眼に配し、脳で高度な情報処理をすることにより、外界をとらえています。見たものをありのまま記録し、その情景を多くの人々と共有するために写真技術が開発されました。最初の試みは1822年のニエプス(Niépce, 1765 ~ 1833, ②)によるもので、光が物質を硬化させる性質を利用した写真エッチングでした。彼はその後、光に反応する銀化合物に着目し研究を続

けましたが、途中で脳卒中によって急死し、共同研究者だったダゲール(Daguerre, 1787 ~ 1851, ③)に引き継がれ6年後の1839年に銀板写真の原型ができました。これは光の強さ(振幅)を記録する技術で、白黒写真として実用化されました。



① 石井勢津子制作ホログラム
「Self-portrait 1995」(Pulsed reflection hologram, 40 x 30 cm)。



② 写真技術のパイオニアたち

プリズムの実験で分かるように、光には色の情報（波長）も含まれています。私たちの視覚では波長の違いを色の違いとしてとらえています。長い生物進化の過程で、日常生活に役立つ光を捉えるセンサーを獲得してきましたが、それが上記の4種類のセンサー（視細胞）で約 380 ～ 780 nm（ナノメートル）の波長範囲をカバーしています。センサーの数が多ければ多いほど色覚（波長）の分解能は上がりますが、それだけ仕組みが複雑になりコストがかさみますので、ヒトはわずか3種類の色覚センサー（赤・緑・青）で対応し生存競争を有利にしているのです。各センサーが受容する光の波長は単一ではなく、かなり幅がありますので、中間色はそれらの重なりとして認識されます。このような理解が進むにつれ、赤・緑・青（ヒトにとっての3原色）を分離して記録する方式が開発され、カラー写真が誕生しました。^(注1)

19世紀初頭から20世紀にかけて、光の強さ（振幅）を記録する白黒写真、つづいて光の波長（色）をも記録するカラー写真が開発され、光の強度のみでなく色の情報も忠実に再現できるようになりました。そして20世紀中頃になると、光の位相や回折・干渉などの波としての性質を利用する新しい記録技術が模索されるようになり^(注2)、1948年、[ガボール](#)（Dennis Gabor, 1900～1979, ④）は本稿の主題である「ホログラフィー」を提案しました^(注3)。ホログラフィーは次節で説明しますように、物体に当たって跳ね返ってきた光とそうでない参照光の干渉パターンを記録する技術で、立体像を再生できる革新的な技術です。以上のように、光の性質への理解が深

まるにつれて、人類は白黒写真からカラー写真へ、そしてホログラムへと記録技術を発展させてきました。こうした進歩は科学の発展を加速させると同時に、芸術の表現をいっそう豊かにしてきたのです。

1.3. ホログラフィーの原理（図③）

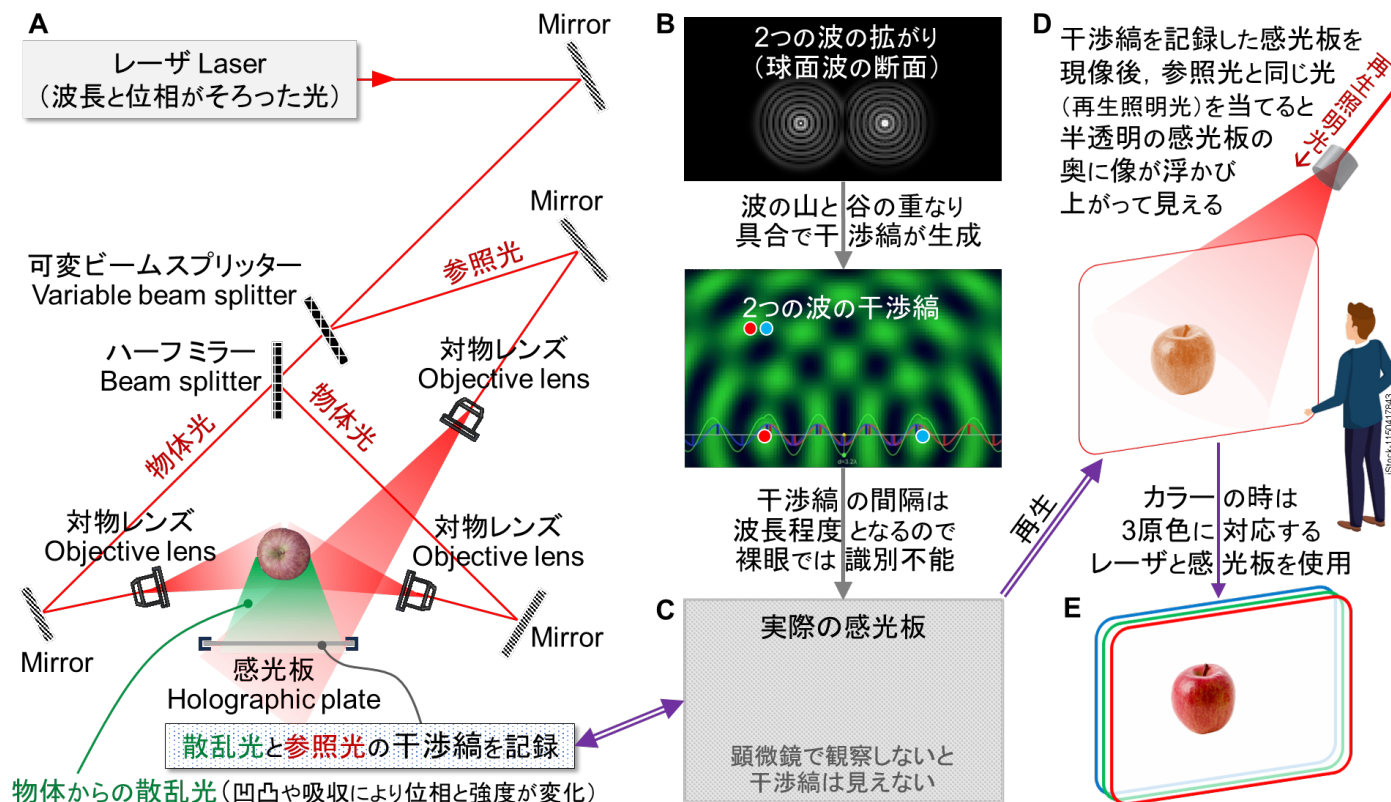
ここで紹介するホログラフィー（Holography）は、3次元の立体像を2次元の平面フィルム（感光板）に記録し、その2次元情報から元の3次元像を再生するという一見不思議な技術です。記録されたフィルムはホログラム（Hologram）^(注4)といいます。重要なのはレーザー光線を使い、その特徴である波長と位相がそろっているという性質を生かして、干渉と回折現象を起こさせる点です。以下順に種明かしをします（図③）：（1）レーザー発振器からの光線をビーム・スプリッターで参照光と物体光の2経路に分け、（2）参照光は感光板を斜めに照らすように光路を調整するとともに、レンズで照射範囲を広げます。同様に、（3）物体光の方も被写体を斜め横から照らすようにセットし、散乱光〔千々に位相が乱れた真の物体光、図の緑〕が感光板に届くようにします（図③A）。（4）感光板面上で、散乱光と参照光が出会い干渉縞ができます（図③B,C）。（5）感光板を現像し、そこに撮影時と同じ参照光を当てると、干渉縞（極細ピッチの濃淡パターン）で回折が起き、回折光が生じます。この回折光は撮影時の物体光（散乱光）の条件を再現していますので、この回折光を見ると、撮影時に物体のあった位置に物体の虚像が見えるのです（図③D）。（6）カラーホログラムの場合には、撮影時に3原色に対応したレーザー

光（赤・緑・青）を用い、感光材もそれらに対応したものを選択します（図③E）。レーザー装置は比較的大型かつ高価なので、通常の白色光で再生できるように工夫された応用型のホログラムが開発されています。この場合も再生光としては点光源や平行な太陽光がお勧めです（太陽が見えない曇りの日は再生不良）。

もう1つ重要なのは、ホログラムを作る時には超微細な干渉縞（光の波長レベルの分解能）がフィルムに記録されますが、この模様はほんのわずかな振動（建物の揺れや足音、車の振動など）でもズれてしまいますので、ホログラムの原版作成装置一式は、外からの揺れをほぼ完全に遮断する[防振台](#)の上に置く必要があることです。この敏感さを巧みに利用したのが[ホログラフィーによる変位計測](#)で、物体の微小な変形や位置の変化を非接触かつ高精度に測定する技術として[機械工学分野](#)で重宝されています。初期は静的な検査用でしたが、現代では[デジタル技術](#)と組み合わせて、リアルタイムで動的な変位を測定する強力な非破壊検査ツールとして、自動車からバイオ分野にまで広く応用されています。

1.4. ホログラフィーの考案者 Gabor

ホログラフィーにはレーザー光は不可欠だと説明しましたが、ホログラフィーの原理が提唱されたのは、レーザー発振器が発明されるよりも12年も前の1948年ですから驚きです。ホログラフィー考案者ガボール（Dennis Gabor, 図④）は、いったいどんな人だったのでしょうか。



③ ホログラフィーの原理。入門書：久保田敏弘、『ホログラフィ入門——原理と実際』，朝倉書店，1995。

[ガボール](#)は1900年にハンガリーのブタペストで、鉱山会社の社長と元女優夫妻の長男として生まれました。小さいころから科学好きで、弟と一緒に自宅に小さな実験室を作り、当時の物理や化学の最先端実験に明け暮れたといいます。11歳で遠心力を利用して飛行機を離陸させる特許を取っています。15歳の時に突然物理学に開眼し、大学入学を待ちきれず、独学で微積分を習得し、物理学の教科書（ニュートン力学、熱力学、電磁気学）を読破しました。特に、アッペ (Ernst Abbe, 1840～1905) の顕微鏡理論やリップマン (Gabriel Lippmann, 1845～1921, 図④) の[カラー写真法](#) (注2) (補足図13) に強くひかれたそうです（これが後に功を奏します）。この頃の社会情勢は厳しく、第一次世界大戦 (1914～1918) では砲兵として従軍しています。

大学進学年齢になると、彼は意外にも、物理学ではなく工学を選択しブタペスト工科大学に進学しました。当時のハンガリーでは「物理学」で生計を立てるのは不可能だと考えたようです。社会情勢が悪化の一途をたどる中、彼はハンガリーを逃れる決断をし、ドイツ

に渡ってドイツ工科大学に籍を置きました。ここでは電気工学を専攻しつつも、しばしばそこを抜け出し、ベルリン大学に聴講に出かけています。当時のベルリン大学には、[プランク](#) (Max Planck, 1858～1947, 量子論)、[ネルンスト](#) (Walter Nernst, 1864～1941, 熱力学)、[ラウエ](#) (Max von Laue, 1879～1960, X線回折) など科学の巨人たちが在籍しており、毎週「ベルリン物理学セミナー」が開催され、[アインシュタイン](#) (Albert Einstein, 1879-1955, 相対性理論) もベルリン郊外の物理学研究所からそのセミナーに通っていましたから、当時のベルリン大学は物理学の絶頂期にあったのです。

ガボールは1924年にベルリン工科大学を卒業し、3年後に同大学で博士号を取得しました。テーマは、電子ビームを磁場で曲げて、光のように焦点を合わせる Magnetic electron lens の研究で科学史に残る成果をあげました。学位取得後は Siemens & Halske 社に勤務し、街灯に採用されることになる水銀ランプの開発に成功。しかし、ヒトラーの台頭を機に、ハンガリー経由で英国に逃れ (ユダヤ系ゆえの難民)、工業都市ラ

グビーにある British Thomson-Houston (BTH) 社に研究職を得ました (1934)。

BTH 研究所には14年間 (1948年まで) 在籍することになりますが、その終盤で、ホログラフィーを考案したのです。偶然の産物だったそうです。当初の目的は、結晶格子中の原子を観察できるような高分解能の改良型電子顕微鏡の開発でした。原理的に顕微鏡の分解能は波長で決まりますので、波長より細かいものを識別するのは難しいのですが、電子の波としての性質を利用すると、理論的には原子レベルの分解能が得られるのです。 (注5)

1.5. ガボールの「ひらめき」 "Eureka"

ガボール自身が語ったり、書き残したりした逸話ではないのですが、広く語り継がれている『閃きの瞬間』を紹介します。原理の復習にもなると思いますので図③も参照しながらお読みください。

物語の舞台は1947年、イギリスの工業都市ラグビー。ハンガリーから亡命

ホログラフィーの父



G. Lippmann



D. Gabor



E. Leith & J. Upatnieks



Y. Denisjuk



S. Benton

④ ホログラフィーの開発者たち。【写真の出典】 [Emmett Leith & Juris Upatnieks](#), [Yuri Denisjuk](#).

してきた 46 歳の技術者デニス・ガボールは、ある「苛立ち」の中にいました。彼の目標は、電子顕微鏡（電顕）で「原子」の姿をはっきりと捉えること。しかし、当時の電顕の性能には限界がありました。レンズ固有の球面収差で、どうしても像がボヤけてしまうのです。「もっとレンズ系を改良すべきか？ いや、物理的なレンズを使う限り、このボケ（収差）からは逃れられない……」。彼は、技術者としての高い理想と目の前の物理的な壁の間で、悶々とした日々を過ごしていました。

テニスコートでの“待ち時間”

イースター（復活祭）の休暇中、彼は気分転換にテニスクラブへと足を運びます。しかし、コートはいにく満員。彼は自分の順番が来るのを待つしかありませんでした。ラケットを手に、コートの隅でぼんやりと試合を眺めていたその時です。彼の頭の中で、仕事の悩みと目の前の景色が予期せぬ形で結びつきました。

彼は電子顕微鏡で電子波の位相をどう捉えるか、頭を悩ませていました。位相を直接写真に撮ることはできません。位相は相対的なものであり、ある波と別の波を比較して初めて意味を持ちます。ガボールは、対象物から発せられる波（物体波の位相）を記録するには、もう 1 つの参照波と組み合わせて干渉縞を作ればよいはずだと閃いたのです。テニスとの関係は「？」ですが、テニスには対戦相手が必要だというアナロジーが働いたのでしょうか。いずれにしても、長く深い思考過程の集大成と

して閃（ひらめ）きの瞬間が訪れたのです。

“丸ごと”記録するという 逆転の発想

彼はこう考えたのです：「レンズで無理やり像を作るからボヤけるのだ。それなら、物体から跳ね返ってきた光の波の情報を『山』も『谷』も『タイミング（位相）』も、すべて（holos）丸ごと記録（gram）しておけばいい。乾板上には物体とは似ても似つかない縞模様の渦巻きだけが記録されるだろうが（図 ③ C）、そのパターンの中にはすべての情報が含まれているから、後できれいな光を当てて読み出せば、元の物体像を再現できるはずだ！」。画像ではなく、光そのものを捉えるという逆転の発想が『ホログラフィー Holography』という概念誕生の瞬間でした。テニスの順番待ちというふとした“余白”の時間が人類に新しい視覚をもたらしたのです。

種が芽吹くまでの冬の時代

ガボールの考えでは、現像したホログラムを参照光だけで再び照射すれば、フィルム上のパターンによって光が回折され、像情報に変換されるので、元の物体の完璧な 3 次元ゴースト（虚像）を再現できるはずでした。ガボールは、すぐに光を使って自分の概念を証明しようとしてしました。問題は、彼のアイデアには完全にコヒーレントな（波長と位相がそろった）光源が必要だったことです。1947 年当時、そのような光源は存在しませんでした。彼にできる最善の策は、高圧水銀アークランプからの光を非常に微細なフィルターと小さなピンホー

ルに通して、光の質を向上させて用いることだけでした。結果は期待外れのものでした。大きな問題は像が 2 重写し（**Twin images**）になり、薄暗く不鮮明な像しか得られなかったことです。こうした困難にもかかわらず、ガボールは実験を繰り返し、なんとか原理を実証し、1948 年から 1951 年にかけて特許申請と論文発表にこぎつけました。物理学界の一部の人たちは注目しましたが、それも学術的な好奇心からで、実用化の面では誰もその価値を理解してくれませんでした。「ガボールの空論」と呼ばれてもおかしくない状況がしばらく続きました。理論と実践は別物なのです。

1.6. ホログラフィーを開花させたレーザー Laser

ホログラフィーの停滞期

1947 年に芽吹いたホログラフィーは、(1) 適切な光源がないことと (2) Twin イメージ問題から停滞期に入りました。ガボール自身は 1949 年にインペリアル・カレッジ・ロンドン (ICL) に移り、最終的には応用電子物理学の教授となりました。博識家だったガボールは、プラズマ工学、通信工学、電子計算機や薄型カラー TV のブラウン管など多岐にわたる領域で研究開発を行い、多くの産業技術分野における先駆的な発明者となりました（生涯で取得した特許は 100 件以上）。ホログラフィーに対する思いは決して薄れることはなく、像情報の書き込みと読み出し、すなわち干渉と回折に適した光源の出現を待ち望んでいたことでしょう。

レーザーの登場

そのような理想的な光は、米国各地の大学や研究所で誕生しつつありました。コロンビア大学のグループによって、まず(1)メーザー Maser^(注6)が開発され、非常に高い指向性と単波長性の強力なマイクロ波が使えるようになり(1951～1954)、さらに(2)マイクロ波と同じ電磁波である光においても同様の装置(レーザー Laser)が実現可能であることが提唱されました(1958)。

こうなるとレーザー開発競争は激化し、その先頭に立ったのがカリフォルニアの Hughes Research Laboratories のメイマン(Theodore Maiman, 1927～2007)でした。彼は、合成ルビー結晶と強力なフラッシュランプを使用して、純粋で強烈な深紅色の光のパルスを放射するルビーレーザーの開発に成功したのです(1960)。波長も位相も完全にそろっていました。ニュースは瞬く間に世界に広まりました。人類が光の魔法使いになった瞬間だったのです。

軍事機密との関連に気付いていた 2人組が最後の詰め

まだメーザーもレーザーも産声を上げていなかった1952年に、ミシガン大学レーダー研究室で機密扱いの研究が始まりました。軍用機に搭載したレーダー Radar の情報から地上の地形を3次元で復元するプロジェクトでした。Research Assistants として2人の若者もメンバーに加わっていました。1人は リース (Emmett Leith, 1927～2005, 図④) で、1952年に修士号を取得後すぐに参加しました。彼は数学に強い理論派で、レーダーの信号を処理する数学的な手法がガボールのホログラフィー理論とよく似ていることに気づきました。そんなわけで、本務の合間を見てホログラフィーの研究にも取り組んでいました。もう1人の ウパトニエクス (Juris Upatnieks, 1936～, 図④) は、非常に器用で粘り強い実験家でした。かれはラトビアからの移民で高等教育を米国で受けている最中でした。1960年にアクロン大学の学部を卒業するとレーダーチームに加わり、研究の傍らミシガン大学

の修士課程にも通っていました。2人がペアを組んだ1960年には、リースは Research Engineer に昇進していましたので、新人のウパトニエクスが彼の部下 (Research Assistant) として配属されたのです。

そんな全く無名の「ミシガンの2人組」が、1962年頃、最初の市販レーザーが入手可能になると、リースはそれまで温めていた“ガボールのホログラフィーのアイデア”を再検討するチャンスだと考えました。腕のいいウパトニエクスに頼んで実験装置を組み立ててもらったのですが、最初は期待したほど鮮明な像は得られませんでした。Twin image 問題がしつこく付きまとったのです。そこから先は、非常に器用で粘り強い実験家ウパトニエクスの執念でした。2人は研究所の地下にある暗室にこもって、深夜まで実験を繰り返しました。軍事研究の傍ら、自分たちの好奇心のためにこっそりと (!) 勤務時間外にホログラフィーの研究を進めたのです。そしてついにレーザー光の“正しい”照射法を見つけたのです。それは、1本のレーザービームをビームスプリッターで2本に分けて物体光と参照光とし、参照光は斜め方向から感光板(フィルム)に当たるようにすることでした(図③A)。2人の視線の先に、鮮明で奥行きのある3D像が浮かび上がった時は、飛び上がって喜んだことでしょう。単純な工夫に見えますが、ホログラフィーにとっては画期的なイノベーションでした。この成果が1964年のアメリカ光学会(現Optica)で実演付きで発表された際には、会場は驚きと熱気に包まれたそうです。発明者のリースと同年代で、後に本学に日本初のホログラム研究拠点を築くことになる辻内順平(1927～2024, 1967 本学教授)は、「しまった! やられた!」と思ったそうです^(注7)。リース36歳、ウパトニエクス27歳だったことも驚きです。^(注8)

1.7. 旧ソ連で蘇った Lippmann 方式

絵画のように展示可能に

Gabriel Lippmann (仏, 1845～1921, 図④)

に関しては、注2で“レンズも染料も使わずにカラー写真を撮る方法”を発明しノーベル賞を取ったこととその原理(補足図13)を紹介しました。しかし、この発明は実用化には至らず、Lippmann はしばらく忘れ去られていました。

上述の Leith と Upatnieks がミシガン大学で暗室にこもっていた頃、ロシアのデニシューク (Yuri Denisjuk 1927～2006, 図④) も暗室で3D画像の創出に取り組んでいました。Leith とデニシュークは同じ1927年生まれです。デニシュークは大学で応用物理を専攻した後(1954)、海軍系の光学研究所に職を得ました。新規性に乏しい仕事に4年間従事した後、上司の計らいで博士号取得のための研究をさせてもらえることになりました。そこで、学生時代に読んだSF短編小説『Star Ships』(written by Ivan Yefremov in 1944)に出てくる宇宙人が残した奇妙な3D写真^(注9)を作ってみたいと思っていたので、その夢に挑戦することにしました。唯一の手掛かりはLippmannの写真技術^(注2)でした。しかし、実験に取り掛かるとすぐに無謀な挑戦であることに気付かされました。当時はまだレーザーがなかったので、光源としては高圧水銀ランプを使い、特殊なフィルターを通して549 nmの光だけを照射できるように工夫したのですが、結果はがっかりさせられるものだったのです。

感度不足で話しにならなかったのですが、幸運にも光化学部門に知り合いの研究者(R.R. Protas)がおり、その女性から増感剤を教えてもらうことができました。この化合物を感光乳剤(エマルジョン)に混ぜることによって、感度は約1000倍も向上しました。しかし、これでも満足とはいえず、エマルジョン中のAgClの濃度やサイズを様々に変えて200回も試し、1958年末にようやく有望な結果が得られました。この時点まで、デニシュークはGaborの仕事を全く知らず、博士論文を書くための先行研究の調査の過程でGaborの論文に出会ったのですが、方法が違いかつデニシュークの方が簡便でしたので(図⑤)、博士論文を書き上げ提出しました。しかし審査員にその内容と意義が理解さ

れず、ペンディングにされてしまいました。論文の方は幸いソ連科学アカデミー会員 V.P. Linnik の推薦を得て紀要に掲載 (1962) されましたが、ソ連国内で注目されることはありませんでした。風向きが変わったのは、前節の Leith と Upatnieks によって、Gabor 型ホログラフィーが完成し、魔法の世界が出現したかのような大騒ぎになっているニュースが西洋から入ってきてからです。^(注 10)

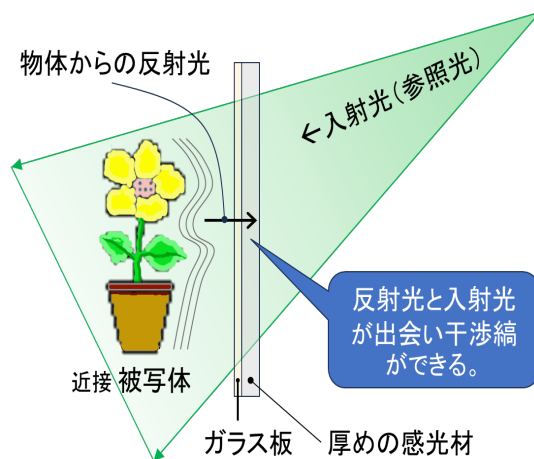
<デニシュク型の特徴> デニシュクは、リップマン写真^(注 2)の干渉構造を3次元物体へ拡張することにより、Gabor とは独立のルートでホログラフィーに到達しました。Gabor は透過型・波面再生を目指しましたが、デニシュクは反射型・白色光再生へとつながる道を切り開きました。単1ビームでのワンステップ記録という操作の単純さも際立っています(図⑤)。この仕事はレーザーを使わずに成し遂げられましたが、1968 年頃からはソ連でもレーザーが使えるようになり、デニシュクたちもその恩恵を享受しています。

1.8. もう一つの革命: 虹の魔法 (hologram) を市民の手に

前々節 (§ 1.5) の Leith & Upatnieks のホログラムは素晴らしかったのですが、実用の面からみると大きな弱点がありました。それは、「レーザー光(または特殊な点光源)を当てないと、ただの濁ったガラスにしか見えない」という本質的な問題でした。製作費も高額でした。これでは一般の人の手には届きません。前節 (§ 1.6) の Denisyuk 型の場合は、白色光で見ることができ、美しさも際立っているのですが、コストの壁は残されたままでした。両者ともに、大型商業施設での CM や博物館での展示に活路を見出すのがせいぜいでした。

1968 年革命: ホログラムの民主化

こんな時に 1 人の天才が現れ、イノベーションを起こしました。彼 (Stephen Benton, 1941 ~ 2003, 図④) は MIT を 1963 年に卒業後、Harvard 大で修士号と博士号を



⑤ Denisyuk 型ホログラム制作原理。Lippmann hologram と呼ばれる。

それぞれ 1964 年と 1968 年に取得し、MIT の学生時代から付き合いがあった Polaroid 社の研究所で、ホログラムの情報の中から「縦方向の視差」をあえて捨てる(記録時に水平方向の狭いスリットを用いる; 補足図 14 A2)ことで、「普通の電球や太陽光(白色光)」でも見えるホログラムを発明し、産業化への流れを作ったのです(1968)。いつも旅先に My pillow を持ち歩くことでも知られていました。

Benton 型ホログラムでは、干渉縞は観賞者が頭を上下に動かすと画像の色が変化し、左右の視差は維持されたまま虹色の効果を生み出すように設計されています(補足図 14)^(注 11)。見る角度を変えると、色が「赤→緑→青」と虹のように変化しますので、レインボーホログラムと呼ばれます。これにより、私たちは特別な装置なしで、いつでもホログラムを見られるようになりました。クレジットカードの銀色のキラキラやお菓子のおまけのシールなどは、すべてこの Benton の発明から始まったのです。

驚きの豆知識 1

ホログラムの不思議な性質

ここがホログラムの最も不思議な点ですが、ホログラムのフィルムを半分に切っても映っている像は半分になりません。小さな破片になっても、そこには「全体の像」が(少しぼやけますが)記録されています。「一部の中に全体が宿

る」というこの性質に、Gabor は深い哲学的な意味を感じていたようです。Holography という命名には、物事を「全体的 (holos, holistic)」に捉えることの大切さも刻まれているのです。「ホログラフィック宇宙論」が話題になっていることを知れば Gabor も本望でしょう。

2. 世界唯一の像情報工学研究施設の歴史とホログラフィー

2.1. 「像情報工学」を冠する世界唯一の研究施設^(注 12)

1954 年〔昭和 29〕、GHQ (占領軍総司令官) 教育科学局の推奨で本学に「像情報工学研究施設」の前身である「印刷技術研究施設」が設置されました(表 1)。GHQ といえば、GHQ が戦後日本の教育改革を進めるにあたり頼りにしたのが本学の和田小六 (1890 ~ 1952, 61 歳没) 学長だったことを思い出される方も多いことでしょう。戦後、研究所より規模が小さい「研究施設」が多数設置されましたが、それらの先駆けだった点でも注目されます。「像情報工学」を看板とする研究所や研究施設が世界的に見ても本学にしかなかったのも特筆に値します。

2.2. 施設拡充時にホログラフィー専門家を招聘

ホログラフィーの研究で日本のリーダーとなる辻内順平 (1927 ~ 2024)^(注 13)

表 1. ホログラフィーの初期の歴史。本学の像情報工学研究施設の歴史・スタッフ・研究テーマについては、『[像情報工学研究施設 50 年のあゆみ](#)』（創立 50 周年記念事業実行委員会刊，2005）を参照のこと。

年	できごと（世界，holography）	できごと（東工大，像情報工学研究施設）
1891	Lippmann: 反射・干渉型カラー写真の発明	
1948	Gabor: 透過型 holography を提案し，原理を実証	
1954		印刷技術研究施設を設置（1 部門）
1959	El-Sum: In-line hologram 原型を ICO-5* で口頭発表	辻内 順平：国際光学会で holography を知る
1962	Denisyuk: 反射型・白色光再生 holography を発明	
1964	Leith & Upatnieks: 透過型 holography を完成	印写工学研究施設に改称（1966 から 2 部門）
1968	Benton: レインボー hologram（白色光再生）を発明	辻内 順平 着任（1988.3 に定年→千葉大）
1974	1960 年代後半：芸術家たちの参入	像情報工学研究施設に改称（1970 から 3 部門，1980 から 4 部門）
1975	1970 年代：エンボス hologram ➡量産化（注 14 参照）	辻内・岩田（凸版）らがエンボス hologram を量産（世界初）
1977	1980 年代：エンボス hologram の普及 1990 年代：デジタル（計算）holography の進展	石井 勢津子：ホログラムに出会い，1981 にかけて，辻内研の研究生。2005 年に情報理工学研究科で博士号取得（主査：中嶋正之教授）
2010	Aerial & interactive holography の研究が盛んに	像情報工学研究所に改称（1989 から 5 部門）
2024	今後：究極の 3D display の実現。メタバース**との融合。Holographic TV はいつ実現するか？	2016 年 4 月の未来産業技術研究所への統合を経て，2024 年からは東京科学大学 統合研究院の傘下にある。統合まで，世界唯一の「像情報工学」を掲げる研究施設として知られた。

*ICO-5: The 5th Congress of the International Commission for Optics, **Metaverse, 仮想空間

のホログラフィーとの出会いをたどってみましょう。辻内さんは東大の天文学科を卒業後（1951），工技院の機械試験所で光学機器の試験・研究に従事し，課長の時に本学に招聘されました（1967）。この間にフランス政府の奨学金を得て，パリの光学研究所に 1 年 8 か月間（1958～1960）滞在。この間にスウェーデンで開かれた光に関する国際学会（ICO-5, 1959）で，新技術の卵（後のホログラフィー）と出会い，パリに帰ってから文献を調べましたが“すっきりしない”ものが残ったようです（注 7 のはしがき iii 頁）。1960 年に帰国し，工技院に復帰してからも「折に触れて文献を読んでいるうちに，おぼろげながら原理が理解できるようになり，すばらしい技術だと思うと同時に，Twin image 問題があり実用化は困難で，ホログラフィーは面白いが幻の技術だと思ってしまった」そうです。

前述のようにレーザーが登場して状況が一変してからは，辻内さんもホログラフィーに深入りすることになります。工技院での光学機器に関する研究と一脈通じるところがあり，新規のテーマとして本格的に取り組むことにしたの

です。1966 年に本学の印写工学研究施設（像情報工学研究施設の前身）に「印写物理部門」が新設されたのを機に，翌 1967 年から活動の場を本学に移しました（当初は兼任で，1968 年から専任）。

2.3. ホログラム量産化への技術的先導役を果たした辻内グループ

＜欧米の動き＞ホログラムは高価な感光材料に 1 枚ずつレーザーで記録するので，開発当初は量産は難しいと考えられていました。ここに風穴を開けたのが上述（1.7 節）のベントン型ホログラム（Rainbow hologram）で，後に開発される印刷向きのエンボス型複製法（注 14）の登場によってホログラムは広く普及するようになりました。エンボスホログラムは，（1）フォトレジスト（photore-sist）にホログラムを露光してレリーフパターン（凹凸）を作成し，（2）それをニッケルメッキしてマスターを作成し，（3）プラスチックテープに型押し（エンボス）して量産されます（図 6）（注 15）。米国では，Cambridge Physical Laboratories や American Bank Note Company など

Visa, 1984），1984 年には約 1000 万部もの発行部数を誇る National Geographic 誌の表紙（図 7）を飾って一躍有名になりました。

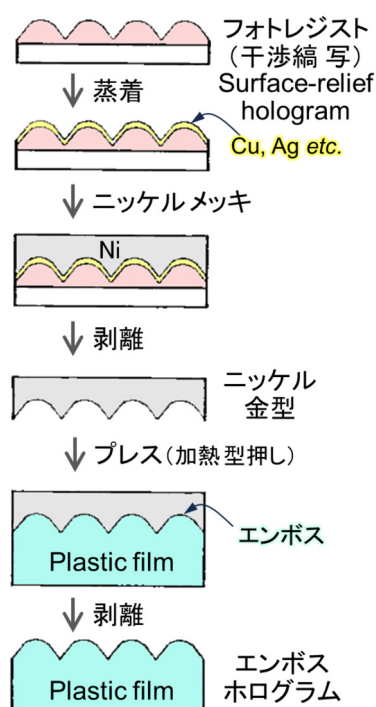
＜国内の動き＞1965 年以降，日本でもホログラフィーの研究が盛んになりました（注 16）。「本学の像情報工学研究施設」と「千葉大学の写真工学科」（辻内さんの本学定年後の異動先）が重要な教育・研究・開発拠点の役割を担いました。辻内さんは，日本におけるホログラフィー研究の草分けであり，多くのホログラフィー研究者を育てるとともに，産学共同研究を通じて“ホログラムの実用化・産業化”に大きく貢献しました。大きな業績としては，（1）光の干渉と回折を利用して 3 次元像を記録・再生するホログラフィーの原理を印刷・偽造防止・精密干渉計測・医療診断などの実用分野へ繋げる道筋を示したこと，（2）ホログラフィックディスプレイ研究会の設立や専門書・便覧執筆による技術の体系化を通して，アカデミアと産業界（注 17）の橋渡し役を長年務めたこと，そして具体的成果として（3）凸版印刷（株）や富士写真光機（株）（現富士フイルム）と連携しながら，日本独自のアプローチ

で、エンボス hologram の量産化を世界に先駆けて実現したことが挙げられます(注18)。凸版が1975年版ペンローズ年鑑に世界初の量産エンボス ホログラムを載せています(図8、発行部数は数千部)。

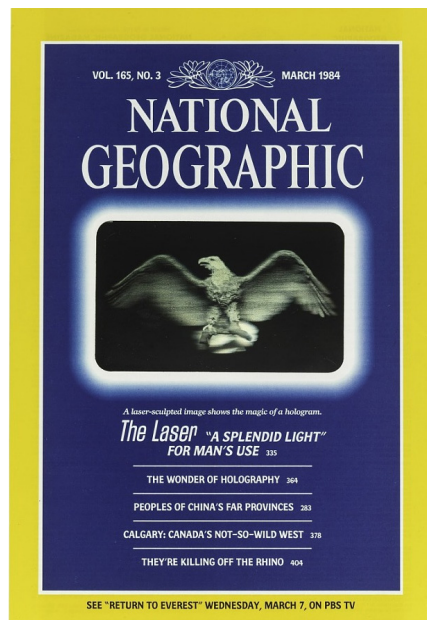
日本では、1975年沖縄国際海洋博の三菱未来館で初めて国産の大型ホログラムが展示されましたが、1985年の「つくばサイエンス EXPO'85」がホログラムが一般に知られる良い機会になったようです。アメリカ館ではベントンの大型マルチカラーレインボウホログラムが展示され、三井館の階段吹き抜け空間には石井さんの大型ホログラフィー・シャンデリア(図9上)が設置されました。また第2会場の「つくばエキスポセンター」内には、「ホログラムシアター」も設置されました。公式マスコット「コスモ星丸」のホログラムステッカー(図9下)を覚えておられる方も多いでしょう。

2.4. 現在に至る流れ (Digital transition, aerial & interactive displays)

1980年代のエンボス hologram の普及を経て、(1) 1990年代に入るとデジタル化が進みました。デジタル holography では、乳剤等の2次元記録媒体を CCD や CMOS などのデジタル撮



⑥. エンボス ホログラムの作製過程。



⑦. “National Geographic” (1984年3月号)の表紙に掲載された米国の国鳥 Bald Eagle のホログラム。この冊子は Smithsonian 博物館にも収蔵されている。Hologram on National Geographic magazine cover: Three-dimensional images called holograms were first shown in the early 1960s and required laser light to reconstruct the image. Inventors quickly developed holograms that could be seen in regular light and could be printed on flexible materials like paper. [The March 1984 issue of National Geographic](#) captivated readers by featuring a hologram of an eagle on the cover. The issue pushed the printing technology of the time as the popular magazine required a large print run unusual for holograms. Within a few years credit card companies began using holographic logos to deter counterfeiters.

像素子に置き換えて干渉縞データを取得し、その数値データに基づいてコンピュータ上で光回折計算を行い、形状を再生します。従来のフィルム方式と異なり、リアルタイムに3次元情報を取得し、定量的な解析ができますので、応用範囲が広がります。(2) 一方、これとは逆のアプローチとして、実際に光の干渉を行うのではなく、コンピュータの中にある3Dの画像情報から光の伝わり方や干渉をシミュレーションしてホログラムを作り出す技術、計算機合成ホログラム (Computer-generated



⑧. 日本の産学連携チーム(東工大・凸版印刷・富士写真光機)が成し遂げた世界初のエンボスホログラムの量産。(A) 掲載誌『The Penrose Annual 1975』, (B) The first mass production embossed hologram produced by TOPPAN Printing Co. [Photo: Fujio Iwata](#)

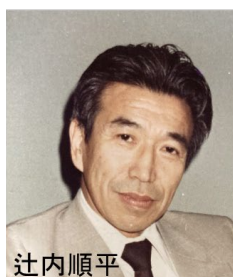
holograms, CGH) も、近年着実に進展してきました。さらに(3) 2010年代になると、Aerial & interactive displays (AID) の実現に向けた研究が盛んになり現在に至っています。AIDは、ホログラフィーで作られた空中の立体映像に人が手を触れると、実際にホログラム側がそれを認識できるようにするものですが、そのためには指がホログラム像に当たった位置をセンサーが正確に感知するための3D user interfaceの開発が欠かせません。この方式では、空中の像を直接操作するため直感的でわかりやすく、かつディスプレイに指が触れず汚損や感染防止にも有効ですので、次世代のインターフェースとして実用化が待たれています。これらの分野をリードしてきているのも本学です(主要な流れ: 辻内→本田→大山→山口, 図10)。(注19)

現役の山口雅浩教授(工学院 情報通信系 人間医療科学技術コース担当)は、「物体から反射される光の情報のデジタル化とそれを人間に再提示するインターフェースの研究に長年取り組んでいる研究



⑨ つくば EXPO'85 で話題となったホログラフィー作品。(上) 石井勢津子制作の大型ホログラフィーシャンデリア。(下) 公式キャラクター

者」¹⁾として、本学の高校生向け広報誌『TechTech』No. 42 (2023 Spring 号, [ホログラフィー研究の最前線](#))²⁾で紹介されていますので、ご覧ください。山口さんは NHK 技研との共同研究で、上記計算機合成ホログラム (CGH) の分野で、従来困難だった「[透明な表面レリーフ計算機合成ホログラム](#)」の作成にも成功しています。この特筆すべき成果は『[NHK 技研公開 2026](#)』(5/28 木～ 5/31 日) で紹介されます。「[フルカラー透明ホログラム](#)」の展示ブースを訪ねてみてください。



辻内順平



本田捷夫



大山永昭



山口雅浩

⑩ 本学の主要なホログラフィー研究者

驚きの豆知識 2

世界初“紙幣上での 3D 肖像の回転”

(1) 視差のデジタル合成 (注 20) : 「顔が回転して見える」ためには、見る角度ごとに「少しずつ違う角度の顔」を私たちの目に届ける必要があります。従来の紙幣に組み込まれたホログラムは、角度を変えると「数字が見えたり、マークが見えたりする」という「画像の切り替え (パッチ)」が主流でした。しかし、新紙幣は違います。例えば千円札では、北里柴三郎の肖像 (図 11) が見る角度に合わせて連続的に横を向きます。これを可能にしている技術の詳細は偽造防止の観点から公表されていませんが、国立印刷局は「[世界初の銀行券用 3D ホログラム](#)」と明記していますので、計算ホログラム CGH 技術を含む“デジタル生成ホログラム”である可能性が高いと考えられます。異なる角度から見た多数の連続した画像データを計算処理し、得られた結果が微細な干渉縞として紙幣の上に配置されています。微細で複雑な干渉縞の集まりなわけですが、その集団によって反射される光は最初に撮影された方向になるように工夫されていますので、私たちが千円札を傾けて斜めから見ると、その角度に割り当てられた干渉縞からの光」だけが選別されて目に入ります。これが連続して起きると、脳は「静止画が切り替わっている」のではなく、「立体が滑らかに回転している」と錯覚するのです。

(2) 電子線描画という究極の筆 : 普通の印刷機では、上記のようなミクロの構造を作ることにはできません。ホログラムの溝やドットのサイズは、光の波長よりも小さくナノメートル単位だからです。銀行券ホログラムの印刷用原版

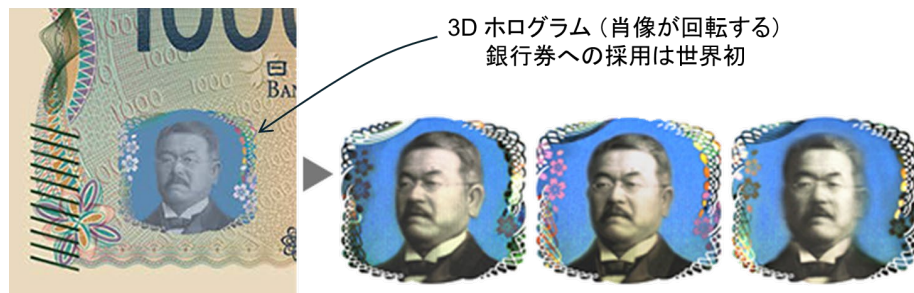
の製法に関しても偽造防止の観点から非公開となっていますが、電子線描画というナノ加工技術によるのが国際標準となっていますので、この度の新紙幣も非常に細い電子線を使って、金属の原版に直接描像されている可能性が高いと推測されます。この「原版」の精度が極めて高いため、偽造者がスキャナで読み取ろうとしても、その超微細な構造 (光を曲げる角度の情報) までは再現できないのです。私たちが毎日 何気なく ポケットに入れて持ち歩いている財布は、[世界最高峰の Nanotechnology Museum](#) なのです。

3. ホログラフィー アート 新芸術の誕生

新しい表現手法を模索していた芸術家たちにとって、ホログラフィーは魅力的でした。「ホログラフィー アート」という新ジャンルを切り拓いた先駆者たちを紹介します。

3.1. ダリ (Salvado Dalí, 1904 ~ 1989)

シュルレアリスム (Surrealism) の代表的画家だった[ダリ](#) (補足図 16, 17) がホログラムに関わることになったいきさつは次の通りです。ホログラムの専門家であるその商業化をもくろんでいたリサック (Selwyn Lissack, 1942 ~) は、ホログラフィーを芸術媒体として社会に認知してもらおうと思案を巡らせていた時に、真っ先に思い至ったのがダリでした。リサックはダリに接触し、初対面なのに『君からの連絡をまっていたよ!』と、いかにもダリらしい表現で、快諾を得ました。1971 年のことです。直線的な空間の枠組みから脱却し、「宇宙的パラダ



⑪ デジタルで生成されたホログラフィック・ステレオグラム

出典: https://www.npb.go.jp/ja/n_banknote/design01/

イム」(ダリ的 新次元)を模索していた風変わりなスペイン人芸術家ダリにとっても、願ってもない申し出でだったのです。2人は、他のホログラフィー技術者の支援も得ながら、5年間にわたり7点のホログラム作品を制作しました(注21,22)。制作拠点としたのは、ダリが借りていた超高級ホテル“The St. Regis New York”のスイートルームだったというのも驚きです。

3.2. ベニヨン (Margaret Benyon, 1940 ~ 2016) 最初の Holography artist

1960年代末になると、物理学の研究室に芸術家が入り込み、科学者と協力して作品を作るという流れが生まれました。大きく「科学背景を持つ者」と「芸術背景を持つ者」の2派に分けることができますが、後者の先駆者が英国のマーガレット・ベニヨン(補足図17)です。彼女は画家でしたが、ホログラフィーの「空間を丸ごと記録できる」という性質に、既存の絵画では不可能な“立体的な実在感”を表現できる可能性を見出し、「ホログラムは人間の内面を表現する深遠な芸術になるに違いない」と確信しました。

ベニヨンはBirmingham生まれですが、高校まではアフリカのKenyaで過ごしています。その後英国に戻り、Birmingham College of Art(学部)とSlade School of Fine Art(大学院)で美術を専攻し、モアレ画像など平面を立体的に見せる技法を深く追求しています(この間にホログラムに惹かれる素養が芽生えていたでしょう)。大学院修了後、1965年頃からは視覚芸術の本質を追求するプロジェクトに従事していました。転機が訪れ

たのは、1967年です。新聞でホログラフィーに関する記事を読んだことをきっかけに、この技術に強い興味を持つようになったのです。そして翌1968年に、彼女は一大決心をし、ホログラフィーを習得するために、[ノッティンガム大学](#)のフェローシップに応募し、3年間 美術分野の研究員として、生産機械工学科の実験室をも利用できる資格を得ました。といっても「時間外利用」のみの許可でした。ホログラフィーに欠かせないレーザー装置は高価な貴重品でしたので、招かれざる客としての多少の冷遇は覚悟していたのでしょう、彼女は ほぼ独学で専門誌を読んだり、すでに身につけていた写真現像技術を参考にしたりしながら、ホログラム作成の試行錯誤を続けました。習熟度が上がるにつれ、他の施設([British Aircraft Corporation in Bristol](#))も借りて作品作りに専念し、1969年にはノッティンガム大学の画廊でホログラムの個展を開くまでになりました。この記念すべき第1回展示会はホログラフィー アートの歴史に刻み込まれていますが、ベニヨンは失敗だったと総括しています(注23)。会場の照明条件が悪く、レーザーに不慣れな来場者と危険なレーザー光に対する安全対策等に悩まされ、“新しい芸術”鑑賞とはならなかったようです。

その後は、物理学研究所([National Physical Laboratory](#))の施設なども利用して作品を制作し、1970年2月と3月に、ベニヨンはロンドンのリッソン・ギャラリー([Lisson Gallery](#))で個展を開催し、フェローシップ(Nottingham大学研究員、1968~1971)期間の終了が近づいた頃には、著名なホログラフィー作家となっていました。

ベニヨンは「ホログラフィー アートの母」と呼ばれています。

本節で紹介したベニヨンの他にも、ホログラフィーを芸術へと昇華させた何人かの先駆者(注24)がありますが、その中の1人として紹介されるのが次節の主人公「石井 勢津子」です。

4. 本学出身の Holography artist 石井 勢津子(せつこ, 表2)(注25-27)

4.1. ゴッホか キュリー夫人か

石井さんは、1966年に本学に入学し、応用物理を専攻しました。同期生754名のうち女子は2人のみという時代です。「苦労したのでは?」と心配になりますが、「性別はあまり気にしたことがない」そうです。小6の時、日本で初めて開催されたゴッホ展(東京国立博物館、1958年秋、入場者約50万人)を見て心は美術に傾いたのですが、その後キュリー夫人に憧れ理系に舵を切りました。入学してすぐ美術部とオーケストラ部に入り、充実した学生生活を送ったようです。しかし3年次頃になると、石井さんの弁によれば、「周りの優秀な同級生たちを見て、私には研究者になる才能はなさそうだと悟り、“絵の世界”を思い浮かべる日々がしだいに多くなっていきました」。

4.2. 美術学校からの再出発

本学卒業(1970)後、石井さんは創形美術学校(造形科)に入り直すことにしました。ここで3年間、油絵とヨーロッパ中世の古典技法などを学び、卒業後は[パリ国立高等美術学校](#)(エコール・デ・ボザール, École des Beaux-Arts)に1年間 留学しました。しかし、どうしても絵具・筆という表現メディアに満足することができず暗中模索がしばらく続きました。『絵の世界に飛び込んでしまったが、無謀だったのでは…』という不安に駆られる毎日だったに違いありません。

4.3. ホログラフィーとの出会い

美術の表現手段に関して暗中模索して

表 2. Holography artist 石井勢津子の略歴*

年	主要なできごと
1970	東京工業大学（現東京科学大学）理学部 応用物理学科卒業
1974	創形美術学校造形科卒
1974	～ 1975: パリ国立美術学校留学
1977	ホログラムに出会う（偶然、銀座で、宣伝用）
1978	～ 1981: 東工大像情報工学研究施設で研究生としてホログラフィーを学ぶ。1978 駿河台画廊で初個展
1980	& 82 & 85: NY のホログラフィー美術館で Artist in residence（現地滞在型 創作活動）
1981	文化庁芸術家在外研修員、MIT 高等視覚研究所 Fellowship & 客員研究員
1985	つくば科学博 三井館階段吹き抜け空間に大掛かりなホログラフィーシャンデリアを設置（図9上）
1987	創形美術学校パリ国際芸術家会館派遣員
1988	シェアウオーター基金（USA）よりホログラフィー・アワード授与
1992	セビリア万博の日本館で、「光の縁日（日本の夏祭り）」をテーマにした 11 点の作品を展示
1993	プルハイム市（ドイツ）よりユーロピアン・ホログラフィー・アワード授与
2000	Visiting Artist (California Institute of the Arts)
2003	Visiting Artist (Korea National University of Arts 韓国芸術大学)
2005	博士号取得（学術博士）「ホログラフィーによる芸術表現と実践に関する研究」
2006	～ 2011: 東工大世界文明センター（CSWC）芸術学院 特任教授（CSWC: 2016.4.1 廃止）
2009	国立台湾師範大学客員講師
2013	～ 2026 現在：国立陽明交通大学・台湾（旧国立交通大学）ホログラフィー・アート夏期集中講座講師，講義計 6 回

* 詳細版は、創形美術学校同窓会の Web page (https://www.sokei-ob.com/scf/name_i/isshisetsuko.html) 参照。個展・招待展の履歴等も記されている。

いた時期に、石井さんは偶然 銀座の街中で店舗のディスプレイ用のホログラムに出会いました（1977）。円筒形のタイプで（注17）、3次元イメージが空間に確かに存在して見えるのに手中に捉えることができないという、今まで経験したことのない視覚体験に非常に衝撃を受けました。そして「これは何？もっと知りたい！」と周囲を見まわした結果、東工大に最先端のホログラフィーの研究室があることを知り、もう一度母校に戻り研究生としてホログラフィーを学ぶことにしました。この時は、「せっかくアートの世界に歩み出したのにまた技術の世界に舞い戻ってしまうのではないか」という不安が脳裏をよぎったようですが、『魔法の光』を作り出している技術を理解し、それがアートの表現手段になり得るか否かを確かめたい一心で、像情報工学研究施設の辻内順平（注13）教授を訪ねました。温かく対応してもらえたのですが、受け入れには厳しい条件が付きましました。「芸術系の人は受け入れないことにしている。一旦受け入れると、次から次へと押し付けてきて断り切れなくなり、本来の理工学的研究ができなくなる」というの

です。「しかし、あなたの場合は 本学出身ということで例外扱いにしましょう」と温情をかけて貰えたのです。石井さんの真剣な眼差しが、ホログラムの光のように映ったのでしょうか。

4.4. Holography の習得と Holography artist としての活躍

1978～1981 年にかけて、辻内研究室でホログラフィーの仕組みを学ぶと同時に、感光材や防振台上のレーザーの扱い方にも習熟し、実際にアート作品も試作できるようになっていきました。こうして記念すべき最初のホログラフィーアートの個展を神田のスルガ台画廊で開くことができました（1978）。1979 年には、ブラジルのサンパウロと米国のフィラデルフィアで招待展を開催したのを皮切りに、以後 毎年のように複数の個展や招待展さらには国内外の招待先に滞在してホログラムを制作・展示する“Artist in residence”をこなすという注目の国際人となりました。「光を紡ぐ 石井勢津子」や「光の魔術師」（注27）と形容されるようにもなりましたが、しっかりした理系の素養に裏打ちされた Holography artist は希少でしたので、

石井さんにはピッタリの呼称です。

ホログラフィーがアートの表現メディアとなり得るのか否かさえ分からない時に、この分野に飛び込んで気づいたことを石井さんは次のように振り返っています（注25）：「例えて言う、ちょうど暗いトンネルに入って初めは何も見えませんが、少し慣れてよく目を凝らすと遠くに出口が見えるのと似た感じでした。しかもその出口は1つではなく、いくつもあることに気付いたのです。それぞれの出口はいろいろな応用の可能性を示唆し、それがどれもとても興味深いものだったということです。様々な方式のホログラフィーが開発され、結果的に私を予期せぬ広い世界へと導く手助けをしてくれました。3次元画像であることが私の意識を平面の絵画から立体作品へと広げてくれました。光を媒体としたメディアであることが太陽光にも目を向け、室内の作品から野外の環境作品へと興味を広げることになりました。先達のいないまったく新しい分野には、どんな展開も可能であり、すべてが自由です。「またまだ見つけていない別の出口があるので



⑫ 高原のある日（反射型ホログラム、85×85 cm、石井勢津子作、1993 年）

は」と思わせてくれるワクワク感もあります。先に述べた苦労話は結局この自由やワクワク感とトレードの関係にあるのかも知れません。この分野に足を踏み入れて 35 年（石井さんの執筆当時の 2014 年、現時点では 48 年）、苦労があっても続けてこられた理由でしょうか^{（注 25）}。2005 年に 27 年がかりで博士号を取得。

石井さんのホログラムの総作品数は現在 150 余点に達しており、世界で最も多くのホログラムを制作しているアーティストです。そのうちの 13 点は本学に寄贈されています^{（注 28）}。寄贈作品の一部は大岡山キャンパスの百年記念館 / 博物館の地下 1 階展示室と本館入り口、及び田町のキャンパス イノベーションセンター（CIC）入口に飾られています。2006 年には石井さんを招いて、本学博物館の第 7 回特別展示・講演会「ホログラフィー——サイエンスからアートへ」^{（注 29）}が開催されました。博物館の地下 1 階に常設展示されている石井さんの作品の 1 つを図 ⑫ に示します。

石井さんには文筆家の側面もあり、5 年間（2018～2022）30 回にわたって「ホログラフィーアートは世界をめぐる」^{（注 30）}を技術情報誌『O plus E』に連載していますのでご覧ください。作品の紹介とその作品にまつわるエピソードや作品に込めた想い、個性豊かな世界のホログラフィーアーティストたちとの交流などが生き生きと描かれています。

----- 注釈 -----

（注 1）カラー写真の始まりは、物理学者 マクスウェル（James Clerk **Maxwell**, 1831～1879、図 ②）が 1861 年に示した「赤・緑・青の 3 色を組み合わせれば色を再現できる」という実験と言えるだろう。マクスウェルは、「光は電磁波である」という理論にとどまらず、人の目には 3 種類の視細胞があり、それぞれが「赤・緑・青」に感応するという パーマー^{*}（George **Palmer**, 1746～1826、図 ②）や ヤング（医師・物理学者、Thomas **Young**, 1773～1829、図 ②）& ヘルムホルツ（生理学・物理学者、Hermann von **Helmholtz**, 1821～1894、図 ②）らの 3 色説にも強い関心を抱き、彼らの 3 原色説を実験的に証明したのです。しかし、当時の技術ではカラー写真までの道のりは遠く、実用化は、フランスの オーロン（Louis **Ducos du Hauron**, 1837～1920、図 ②）が 3 色分解の考えを発展させ、撮影・印刷の方法を体系化するまで待たなければなりません。オーロンの工夫により、色を分けて記録し再び重ねるという現在のカラー写真の基本原理が確立されました（特許、1868）。そして、フランスの リュミエール兄弟による世界初の実用的なカラーフィルム「オートクローム」の発売（1907）、ドイツのアグファ社による 3 層式多層カラーフィルム（Agfacolor Neu）の商品化・世界標準化へと続けました（1936）。

^{*}Palmer: Theory of Colors and Vision (1777); Theory of Light (1786)。

（注 2）光の干渉パターンを利用する リップマン式天然色写真（Lippmann interference color photography）が 1891 年に開発され、リップマン（図 ④）は 1908 年にノーベル賞を授与されている。本法は、光の干渉現象を利用して自然な色を再現する世界初の技術で、感光乳剤の裏面に水銀を配置して鏡面とし、定在波を形成させて微細な構造色を惹起する（図 ⑬）。具体的な手順：（1）透明なガラス板に、超微粒子感光乳剤（ハロゲン化銀）を塗布し、（2）乳剤の裏側に液体水銀を接触させ、反射面とする。そこに被写体光が入ると、（3）入射光と水銀による反

射光が干渉し、乳剤内部に「干渉縞（定在波）」ができる。その結果、（4）ブラッグの法則に従って光が反射・回折することで、色素を使わなくても色が生まれる。これは、玉虫・カワセミ・中南米に生息するモルフォチョウなどの羽根に見られる自然界の「構造色」と同じ原理になる。しかし、露光に長い時間が必要なことや大量複製ができないという弱点があり、ノーベル賞にはなったが、実用には至らなかった。構造色関連の本学の研究者については以下の博物館刊行物を参照のこと：Facebook「今月の一枚」2022 年 4 月、note「企画ミニ展示解説：構造色」（渡辺順次）。

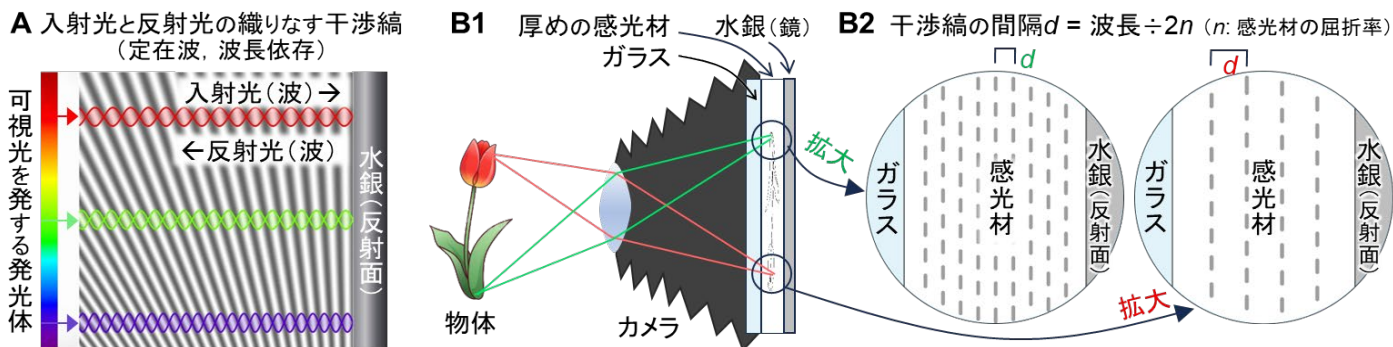
同様の原理は、後述する リップマン式ホログラムに生かされている。レーザー光がなくても、LED 等の点光源を当てるだけでホログラム像を容易に再生できるメリットも有する。

（注 3）Gabor, D., A new microscopic principle, *Nature* 161, 777–778, 1948. 多くの解説では、発明は 1947 年、発表は 1948 年と記されている。論文が掲載された *Nature* 誌の発行は 1948 年 5 月 15 日なので、投稿から審査・印刷までの日数を考えての表現だろう。

（注 4）“holo-”（ホロ）は、ギリシャ語の“holos”（全体、すべて、完全な）を語源とする接頭辞。バイオ系の人ならば、ビタミン等の補助因子と合体して活性化状態になった酵素をホロ酵素と呼ぶことでおなじみだろう。

（注 5）電子が波（物質波・ドブロイ波）として振る舞う時の波長（ λ ）は、プランク定数を電子の運動量（ $p=mv$ ）で割った値（ h/p ）で表される。加速電圧 100 V の電子では約 1.2×10^{-10} m（ $=1.2$ Å）となり、原子の大きさ程度になる。現在の電子顕微鏡で使用される電子線の波長は通常 0.0037～0.0019 nm（ $=0.037 \sim 0.019$ Å）。

（注 6）メーザー（MASER, Microwave amplification by stimulated emission of radiation）は、1953～54 年にかけて、米国のタウンズ（Charles **Townes**, 1915–2015）と彼の研究室の大学院生（J.P. **Gordon**, 1928～2013 & H.J. **Zeiger**, 1925～



13 リップマン式天然色写真の原理 (B1, B2)。A: 波長依存性の干渉縞, B1: 撮影セット, B2: 感光材料中に形成される干渉縞のイメージ図。d, 干渉縞幅 (波長に依存)。

2011) によって、アンモニア分子を励起し発光・共振させる方式で開発された。ほぼ同時期に、ソ連の Nikolay Basov (1922 ~ 2001) と Alexander Prokhorov (1916 ~ 2002) も独自に原理を研究し連続発振可能なレーザーを開発しており、彼ら3名は1964年のノーベル物理学賞を共同受賞。この装置は、特定の波長の強力なマイクロ波を発生する。マイクロ波は身近なところでは電子レンジに利用されている。

(注7) 辻内順平, 『ホログラフィー』(物理学選書22), はしがきiv頁, 裳華房, 1997:「1962年にミシガン大学の Leith と Upatnieks の二人が, 波面再生と通信理論という論文を発表し, 今日で言う空間搬送波ホログラムの原理を提案した。この論文はなるほどと思わせる魅力的なものであったが, 最後に載っていた実験結果を見て, やはり駄目なのだと妙な安心感を覚えた。その翌年, 同じ著者らが当時現れたばかりのレーザーを光源に使い, 昨年提案した理論に従って実験を行って, 従来の常識を覆すようなきれいな像を発表したのを見て, 驚きと同時に“しまった! やられた!”という後悔にも似た感じを味わったのを鮮やかに記憶している」。

(注8) Leith はすぐに准教授になり, 1968年には教授になっています。Upatnieks はノーベル賞級の修士論文を仕上げ, Research Engineer に昇進した後, ERIM (Environmental Research Institute of Michigan) に転出し, ミシガン大学教授を兼務しました。彼らは1969年ノーベル物理学賞の候補になったのですが, 受

賞には至りませんでした。その後, 1971年に Gabor がホログラムの発明でノーベル物理学賞を単独受賞しています。実用化も重視されるようになった最近のノーベル賞ならば, 3人の共同受賞もあったかも知れませんが, §1.6の Denisjuk (旧ソ連) も入れると4人になり, ノーベルの遺言「3人以内」に反し難しくなります。ノーベル賞も業績だけで決まるわけではないのです。

(注9) SF 短編小説『Star Ships』の1節の紹介: 当時, 私 (Denisjuk) は SF 小説を読むのが大好きだった。その中で, 有名なソ連の作家ユーリ・エフレモフの『宇宙船』という物語に出会った。この物語の一場面が私に強い印象を残した。その場面では, 現代の考古学者たちが, 何百万年も前に異星の知性体が恐竜を狩っていた遺跡を発掘中に, 偶然奇妙な板を発見する。「塵が除去された瞬間, 二人の教授(考古学者)の胸に戦慄が走った。深く, 完全に透明な層から, 奇妙な顔が彼らを見つめていた。その顔は未知の光学技術によって自然の大きさに拡大され, 立体的な形状を保っていた。この顔の最も印象的な特徴は, 信じがたいほどの生き生きとした表情, 特にその瞳にあった。」

(注10) Johnston, S.F. “Yuri Denisjuk: an appreciation”, Proceedings of the 7th International Symposium on Display Holography 8–13, 2006. ◆ Denisjuk, Y.N. “My way in holography”, *Leonardo* 25(5), 425–430, 1992. ◆ 桑山哲郎, 「画像機器と色の研究を巡る話題から: 連載第54回 東京工業大学博物館 その3 デニシュク型

ホログラム」, 色彩学 3(2), 5, 2024.

◆ Denisjuk, Y.N. “Photographic reconstruction of the optical properties of an object in its own scattered radiation field,” *Soviet Physics Doklady*, 7(6), 543–545, 1962..

(注11) ベントン型ホログラフィー (図

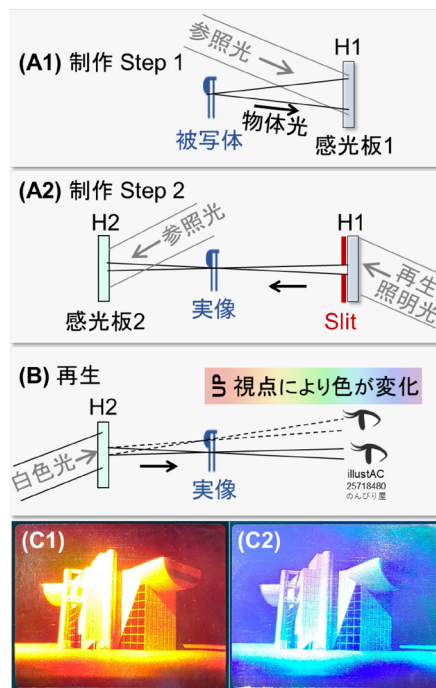
14): Benton によるレインボーホログラムの光学的な記録手順は, 次のように, 一般的に2段階のプロセス (H1 から H2 への転写) で行われます。このプロセスの核心は, 途中で「水平スリット」を挿入する点にあります。(1) マスターホログラム (H1) の作成 (A1): レーザー光を2つに分け, 1つを物体に当て (物体光), もう1つを直接フィルムに当てます (参照光) → 物体からの散乱光と参照光が干渉し, そのパターンが記録されます。この段階では, まだ上下左右すべての視差情報が含まれています。次に H1 を用いて新しいホログラム (H2) を作成します。ここでスリットが登場します。(2) レインボーホログラム (H2) への転写 (A2): 完成した H1 に, 記録時とは逆方向からレーザー光 (共役波) を照射します。これにより, 元の物体があった位置に空中に浮かぶ実像が再現されます。続いて, H1 の表面に水平方向の細いスリット (隙間, 約 5 mm) を被せます → これにより, H2 に到達する光は「スリットを通った光」のみに制限されます。この操作が上下方向の視差 (垂直方向の視差) を捨て, 白色光でのボケを防ぐ鍵となります。次に H1 から再生された実像の位置 (またはその近く) に新しいフィルム H2 を置き, 別の参照光を当てて干渉縞を記録します。(3) 像の再生 (なぜ虹色になるのか?) (B): H2

を白色光で照らすと、記録したスリットの像が再生されます。白色光は様々な色の混ざり合いであるため、色ごとに回折する角度が異なります。観測者が目を上下に動かすと、異なる色のスリット像を覗き込むことになります ➡ その結果、像の形は保たれたまま、見る高さによって赤・緑・青と色が変わって見えるようになりますので (B, C1, C2)。◆ Benton S.A, Hologram reconstructions with extended incoherent sources, *J. Optical Society of America* 59, 1545–1546, 1969. ◆ 桑山哲郎, 「画像機器と色の研究を巡る話題から: 連載第 52 回 東京工業大学博物館 その 1 レインボーホログラムの色」, 色彩学 2(4), 176, 2023. ◆ 連載第 53 回 東京工業大学博物館 その 2 マルチカラー・レインボーホログラム, 色彩学 3(1), 2, 2024。

(注 12) 像情報工学研究施設: 東京工業大学百年史部局編, 第 20 節, pp. 584–591, 1985. ◆ 東京工業大学 130 年史, p. 484, 2011。

(注 13) 辻内順平: 1951 年東大・理・天文卒, 同年工技院機械試験所入所, 1958.9 ~ 1960.4 フランス政府技術留学生及び CNRS (The National Center for Scientific Research) 光学研究所研究員 (パリ), 1960 年工技院に復職, 1962 年博士号取得 (東大), 1967 年東工大教授 (印刷技術研究施設 印写物理部門)。日本におけるホログラフィー研究を草創期から支え, ホログラフィック ディスプレイ研究会 (HODIC) の設立などにも尽力。専門書『ホログラフィー』(裳華房, 1997) や『ホログラフィー材料・応用便覧』(辻内順平, 岩田藤郎, NTS, 2007) などを執筆し, 技術の体系化を行うとともに, その普及にも努め光の干渉と回折を利用して 3 次元像を記録・再生する原理を印刷技術や偽造防止, 計測などの実用分野へ繋げる道筋を提示した。

(注 14) エンボス ホログラム (Embossed hologram) の起源: ◆ Bartolini, R., Hannan, W., Karlsons, D., and Lurie, M. "Embossed hologram motion pictures for television playback," *Appl. Opt.* 9, 2283–2290, 1970. ◆ Sheridon, N.K., "Production of blazed gratings," *Appl. Phys. Lett.* 12(9), 316, 1968.



14 Benson ホログラムの制作・再生の原理 (A & B) 及び具体例 (C1, C2)。百年記念館竣工記念ホログラム (C) の出典: 辻内順平, 本田捷夫, 『ホログラフィック・ディスプレイ』, 東京科学大学博物館, 1987。

◆ Iwata, F., and Tsujiuchi, J., "Characteristics of a photoresist hologram and its replica", *Appl. Opt.* 13, 1327–1336, 1974. ◆ Embossing allowed the images to be reproduced by a press that stamped the image onto plastic surfaces. With this technique, developed by Michael Foster in 1974 and brought to commercial viability by Steve McGrew in 1979, holographic information is transferred from light sensitive glass plates to nickel embossing shims (URL1, URL2, URL3); ただし, Steve McGrew が 1979 年にカリフォルニアで Light Impressions Inc. を創業したという事実以外は, 1 次資料を確認できず。

(注 15) エンボスホログラム (Embossed hologram) の作成法 (図 6)。[1] 写真から金型への転換: 通常のホログラムは, 銀塩フィルムのような材料に光の干渉縞を記録します。しかし, これでは複製は困難です。➡ そこで, 光を当てると表面が硬化・溶解する「フォトレジスト」(半導体分野の必需品) という材料を用いて, 目に見えない光の干渉縞を表面の「微細な凹凸 (溝)」として記録します。[2] ナノレベ

ルの溝の複製: 記録したフォトレジストの表面に, 電気メッキの原理でニッケルなどの金属を薄く堆積させ, 「ニッケルスタンパー (金型)」を作製します。これにより, ホログラムの情報を「物理的なハンコ」の形に定着できます。[3] 高速・大量印刷の実現: この金型 (Ni 製ハンコ) をロール状に印刷機に取り付け, 加熱したプラスチックフィルムにプレス (型押し) します。➡ これにより, 従来の「撮影」というプロセスを, 新聞を刷るような「転写印刷」へと変貌させ, 1 分間に数百メートルという超高速度量産が可能に。

(注 16) 辻内順平, 「ホログラフィーの発展 ---- その歴史と応用技術」(ホログラフィー誕生 50 年), 光学 27(5), 253–262, 1998. ◆ Kodera, M., Holography in Japan, *Leonardo* 25(5), 451–455, 1992. <https://muse.jhu.edu/article/607138>. ◆ Iwata, F., History of holographic display in Japan, *Practical Holography II*, 1987.

(注 17) パイオニア的な企業の例: 凸版印刷 (現 TOPPAN) は, 1971 年に辻内グループと協力し, 大量生産に適した「エンボス型ホログラム」の開発に着手。1978 年には, Multiplex-type hologram* (円筒形で, 水平に 360 度どの方向からも見ることができ, 動きのあるものも見られる画期的なホログラム) を高品質化・歪み補正する新しい技術を開発。大日本印刷 (DNP) は, 1972 年にホログラム製品開発に参入し, 途中 American Bank Note Company 系列企業と連携。リップマンホログラムとエンボスホログラムの 2 種類のホログラムを製造できる国内唯一のメーカーとなっている。

* 発明者は Lloyd Cross で Multiplex Corporation 社を創設 (1970 年代中頃)。◆ 次の論文には Multiplex-type hologram の原理の解説あり: 志村啓, 本田捷夫, 山口雅浩, 大山永昭, 「マルチプレックス・ホログラム再生像の拡大」, 光学 20(3), 169–173, 1991. Ohyama, N., Minami, Y., Watanabe, A., Tsujiuchi, J., and Honda, T. "Multiplex holograms of a skull made of CT images", *Opt. Commun.* 61, 310–313, 1987.

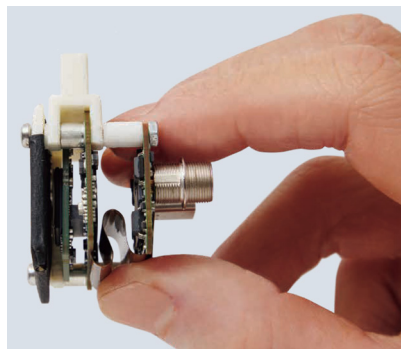
(注 18) Iwata, F., and Tsujiuchi, J., “Characteristics of a photoresist hologram and its replica”, *Appl. Opt.* 13, 1327–1336, 1974. ◆ 岩田藤郎 (凸版), 辻内順平 (東工大), 「表面レリーフ型ホログラムの複製」, 日本写真学会誌 37, 320–328, 1974. ◆ 岩田藤郎, 解説「ホログラムの複製技術」, 光学 17(7), 328–332, 1988. ◆ Shozo Imoto, Development in Japanese printing. In *The Penrose Annual Vol. 68* (Bryan H. Smith ed.), pp. 221–226, 1975. See Fig. 8.

(注 19) 辻内順平 (注 13) 教授の流れをくむ本学教員 (図 10) :

◆ 本田捷夫 (としお, 1943 ~, 1966 早大応物, 1968 東工大 MS, 1968 助手, 1981 助教授, 1993 千葉大 情報画像工学科教授, 2008 年定年) ; 辻内順平, 本田捷夫, 『ホログラフィック・ディスプレイ』, 東京工業大学 (現東京科学大学) 博物館, 1987。

◆ 大山永昭 (ながあき, 1954 ~ 2024, 1977 物理, 1982 Dr, 1983 助手, 1988 助教授, 1993 教授, 2000 フロンティア, 2019 定年) ; Ohyama, N., Minami, Y., Watanabe, A., Tsujiuchi, J., and Honda, T. “Multiplex holograms of a skull made of CT images”, *Opt. Commun.* 61, 310–313, 1987. 医療情報システムや公的個人認証 (JPKI), マイナンバーカード関連のシステム構築に貢献 (*OplusE* 2018 年 7・8 月号, 第 462 号)。

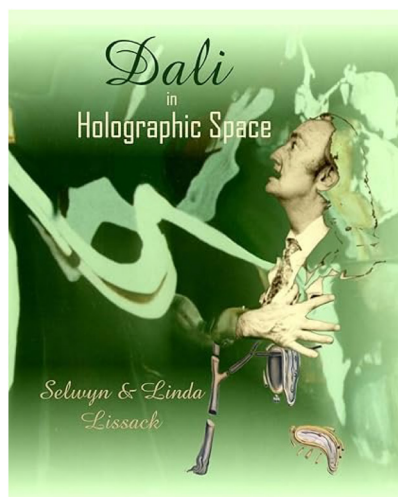
◆ 山口雅浩 (1964 生, 1987 応物, 1989 物理情報工学 MS, 1989 助手, 1996 助教授, 2011 教授 GSIC) ; 計算ホログラフィー以外に, 以下の研究でも大きな成果を上げている。「ナチュラルビジョンの研究」(RGB の 3 原色の代わりに, マルチスペクトルカメラと多原色ディスプレイを用いて, 従来困難だった鮮やかな色彩表現を可能にする技術) で, 2010 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門) を山口雅浩・羽石秀昭・村上百合・大山永昭の 4 名で共同受賞。「レンズレスカメラ」(図 15) (最先端機械学習モデル “Vision Transformer” を用いた新たな画像再構成手法を開発し, レンズ不要の次世代イメージセンシングを提案) : Pan, X., Chen, X., Takeyama, S., and Yamaguchi, M., Image reconstruction with transformer for mask-based lensless imaging, *Opt. Lett.* 47, 1843–1846, 2022. <https://doi.org/10.1364/OL.455378>



15 Lensless camera
(山口研で開発中)

(注 20) 画像情報の多重化: 複数の異なる画像情報を 1 つのホログラムの中に詰め込む (多重化する) ための初期の方法 (Multiplexing holography, 円筒形の中に像が浮かぶもの等) は, 映画フィルムのように少しずつ角度の違う写真を縦に細長い短冊状 (スリット) にして次々にホログラムに焼き付けるアナログ方式でした。

(注 21) Selwyn Lissack, Linda Lissack, Louis Brill, “Dali in Holographic Space: a collaboration of art and science”, Createspace Independent Publishing Platform, North Charleston, South Carolina, 2012. ◆ 実際のホログラム制作に関わった Lon Moore 等の協力者に言及されていないのは残念とのコメントもある。



16 ダリのホログラム作品がいかに生まれたかを説明した本 (150 頁)。

(注 22) Jo Lawson-Tancred, “How Dalí became one of the first artist pioneers in the field of holographics: The surrealist saw holograms as a way to move beyond the human subconscious into a new cosmic paradigm”, *artnet* November 13, 2023.

(注 23) Coyle, R., and Hayward, P., The founding of holographic art, In “Apparition: holographic art in Australia”, Power Publications, University of Sydney, Chapter 2, pp 23–36, 1995.

(注 24) 光という実体のない素材で, いかにして「存在」や「記憶」を描くかに命を懸けた先駆者たち (表 3, 図 17)。

(注 25) 石井勢津子, “輝けリケジョ 第 9 回” 「ホログラフィーアーティストとして」, 映像情報メディア学会誌 68(4), 324–326, 2014. ホログラフィーの道に進んだいきさつが詳細に記されている。

(注 26) 影山幸一, “ミュージアム IT 情報” 「光の波面を記録し, 環境芸術へ」 — ホログラフィーアーティスト「石井勢津子」, *artscape* 2005 年 10 月 17 日号。◆ 石井さんの略歴と作風が紹介されている: 石井作品はホログラムに光や水や音など, 周辺の自然環境と呼応する。むしろ環境彫刻と呼んだほうが的確なのかもしれない。

(注 27) 光の魔術師: 一人の東京の科学者が, いかにして 世界で最も多くのホログラムを制作するアーティストとなったか, *Optica* 2022 年 11 月 16 日号 ◆ Magician of Light: How a scientist from Tokyo became one of the most prolific hologram artists in the world. *Optica*, 16 November, 2022.

(注 28) 石井ホログラム芸術作品点燈式, 東工大クロニクル No. 376, p. 26, 2003 年 4 月 30 日号。

(注 29) 博物館, 第 7 回特別展示・講演会「ホログラフィー サイエンスからアートへ」開催報告, 東工大クロニクル No. 412, pp. 19–22, 2006 年 7 月 31 日号。

(注 30) 石井勢津子, 連載「ホログラフィーアートは世界をめぐる」, 第 1 回 “冬の旅” (*OplusE* 2018 年 2 月, 第 459 号) ~ 第 30 回 “国際ディスプレイ ホログラフィー シンポジウム・ISDH は世界をめぐる” (*OplusE* 2022 年 11・12 月, 第 488 号)。

表 3. Pioneers of holography art. 青字の作家は本文中に登場。

氏名 (生年順)	国籍	ホログラフィーとの出会い (概略)	先駆的役割 (要点)
Salvador Dalí (1904–1989)	スペイン	1970 年代にホログラフィー専門家と協働	伝統美術家としてホログラフィーを早期採用し、メディア及び芸術界の注目を喚起
Harriet Casdin-Silver (1925–2008)	米国	1960 ~ 70 年代にレーザー／ラボで制作開始	多色・白色光ホログラム、人体表現で先導。1970 年代以降の米国ホログラフィー芸術の重要人物。 holowiki.org Berkshire Fine Arts
Tung H. Jeong (1931–2015)	米国	核物理背景、1960 年代後半から教育・研究の場でホログラフィーに深く関与 Wikipedia INTEGRAL	教育者・普及者。International Symposium on Display Holography 共同創設。Full color 技術や円筒ホログラムなどの実用化支援
Lloyd Cross (1934–2015)	米国	1960 ~ 70 年代のレーザー研究から芸術応用へ holowiki.org Wikipedia	教育機関 (San Francisco School of Holography) 設立と低コスト手法で普及を促進。Multiplex/Integral (motion-sensing) hologram の開発・普及
Margaret Benyon (1940–2016)	英国	1967 の新聞記事で知り、1968 ~ 大学ラボで独自に制作開始	英国での初期個展／芸術的ホログラフィーの確立 (英国ホログラフィー アートの母)。学術的理論化。 Wikipedia Hologram
Stephen A. Benton (1941–2003)	米国	1960 年代にホログラフィー研究に従事	レインボーホログラム発明・MIT で教育と技術開発。 Wikipedia MIT Media Lab
Ana María Nicholson (1942–)	Balcerona, Spain → 米国	比較文学の背景 (1967 年 UCSD 卒)、1972 年に初めて展示会でホログラムを見て惹かれた。1978 年から Hawaii 大の Center of Holography で制作開始 → NY	Pulse laser holography で人物像や大型インスタレーションを制作。1998 年に Daniel Schweitzer と共同で NY に HoloCenter を設立。 https://muse.jhu.edu/article/609450
Rudie (Rudi) Berkhout (1946–2008)	オランダ → 米国	工学・光学背景、1970 年代後半 New York School of Holography 等で制作開始	白色光伝送ホログラムの色制御やパルス技術の実験・国際展示。Novia Lighting など照明概念の開発。 holowiki.org holocenter
Daniel Schweitzer (1946–2001)	米国	1970 年代 NY で舞台芸術と接点。New York School of Holography 等でホログラフィーを学ぶ。 holocenter Free Online Library	New York Holographic Laboratories (NYH Labs) を共同設立し、Holographer の育成に尽力。教育・展示・コミュニティ形成に貢献。
Setsuko Ishii (石井勢津子 1946–)	日本	1977 年に銀座で CM 用のホログラムに出会い衝撃を受け、翌年から本学の研究室に弟子入りし、約 4 年間研鑽。	日本及び世界での大型 インスタレーション * と普及の先導。 holocenter Optica
Sam Moree (1946–)	米国	芸術系の出身。1970–80 年代の NY コミュニティで活動。	NYH Labs 共同創設。彫刻と組み合わせた立体インスタレーション制作。 holocenter
Doug (Douglas E.) Tyler (不詳)	米国	芸術系の大学院修了後、1970–80 年代に新メディアとして Holography の実践に着手	大学教員としての普及と混成メディア的作品制作。 Saint Mary's College

* インスタレーション Installation: 作品が配置されている空間全体を作品と見なす体験型展示

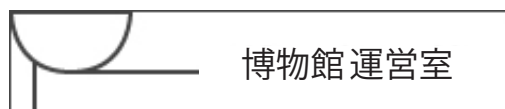


17 ホログラフィー アートの先駆者たち。

文： 広瀬茂久 (名誉教授)

Editorial Support: Professor Gemini

2026 年 5 月
東京科学大学 博物館 資史料館運営室
archives@adm.isct.ac.jp



博物館運営室

東京科学大学 博物館



資史料館運営室

152-8550 東京都 目黒区 大岡山 2-12-1-CH-1 03-5734-3340 museum@adm.isct.ac.jp
<http://www.cent.titech.ac.jp/>

資史料館運営室 : 045-924-5501

https://www.cent.titech.ac.jp/ISCT_Archives

archives@adm.isct.ac.jp

(学内便 : G5-14)